

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(1)Publication number : 2001-255660

(43)Date of publication of application : 21.09.2001

(51)Int.Cl.

G03F 7/20

G02B 3/00

G02B 13/18

G03F 7/40

(21)Application number : 2000-067262

(71)Applicant : RICOH OPT IND CO LTD

(22)Date of filing : 10.03.2000

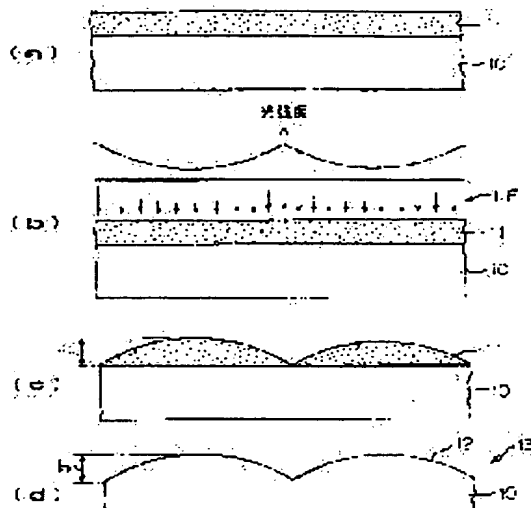
(72)Inventor : UMEKI KAZUHIRO

(54) GENERATION METHOD FOR SPECIAL SURFACE SHAPE AND OPTICAL ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a novel generation method which is capable of easily generating a special surface shape of a three-dimensional structure which changes smoothly and continuously in a height direction on a photosensitive material layer or a substrate.

SOLUTION: The generation method for the special surface shape changes the thickness of the photosensitive material layer 11 according to the desired special surface shape by applying a photosensitive material to a prescribed thickness on the surface of a substrate material 10 to be formed with the special surface shape of the desired three-dimensional structure to form the photosensitive material layer and exposing a mask pattern LF of a prescribed light transmittance distribution on the photosensitive material layer 11 by using a mask for exposure stepwise changing in the light transmittance in correspondence to the special surface shape. When the pattern LF of the mask for exposure is exposed to the photosensitive material layer 11, the exposure pattern is slightly deviated in focus by defocusing, by which the level difference of the light transmittance distribution of the mask pattern is eliminated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

This Page Blank (uspto)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-255660

(P2001-255660A)

(43) 公開日 平成13年9月21日 (2001.9.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
G 0 3 F 7/20	5 0 1	G 0 3 F 7/20	5 0 1 2 H 0 8 7
G 0 2 B 3/00		G 0 2 B 3/00	A 2 H 0 9 6
13/18		13/18	2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/40	5 2 1	G 0 3 F 7/40	5 2 1 9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-67262 (P2000-67262)

(22) 出願日 平成12年3月10日 (2000.3.10)

(71) 出願人 000115728

リコー光学株式会社

岩手県花巻市大畑第十地割109番地

(72) 発明者 梅木 和博

岩手県花巻市大畑第10地割109番地・リコー光学株式会社内

(74) 代理人 100067873

弁理士 樺山 亨 (外1名)

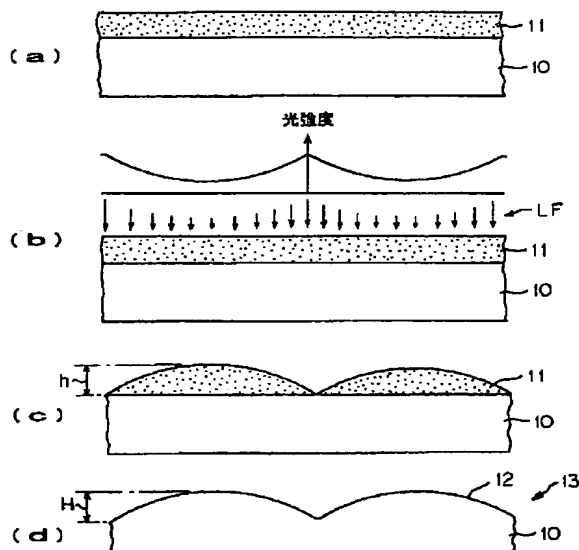
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 特殊表面形状の創成方法及び光学素子

(57) 【要約】

【課題】感光性材料層あるいは基板上に、高さ方向に滑らかに連続的に変化する3次元構造の特殊表面形状を容易に創成することができる新規な創成方法を実現する。

【解決手段】所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料10の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層11を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて感光性材料層11に所定の光透過率分布のマスクパターンLFを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて感光性材料層11の厚さを変化せしめる特殊表面形状の創成方法において、感光性材料層11へ露光用マスクのパターンLFを露光する際に、デフォーカスして露光パターンを僅かに焦点ボケさせ、上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】所望の3次元構造の特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて基板上の感光性材料層にパターンを露光する際に、露光パターンを焦点ずらしさせ、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項2】所望の3次元構造の特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて基板上の感光性材料層にパターンを露光する際に、拡散光でマスクパターンを露光することで、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項3】所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて上記感光性材料層に所定の光透過率分布のマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめる特殊表面形状の創成方法において、

上記感光性材料層へ上記露光用マスクのパターンを露光する際に、デフォーカスして露光パターンを僅かに焦点ボケさせ、上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項4】所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて上記感光性材料層に所定の光透過率分布のマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめる特殊表面形状の創成方法において、

上記感光性材料層へ上記露光用マスクのパターンを露光する際に、上記露光用マスクのパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学素子を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することにより上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項5】請求項2記載の特殊表面形状の創成方法において、
拡散光発生方法として露光用マスクのパターン形成面の反対面に光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項6】請求項2記載の特殊表面形状の創成方法において、
拡散光発生方法として露光用マスクのパターン形成面に光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項7】請求項2記載の特殊表面形状の創成方法において、

拡散光発生方法として露光用マスクの両面に光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、光透過率分布の段差を解消することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項8】請求項1～7の何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法において、

上記露光用マスクとして、特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するマスクパターンを有する濃度分布マスク（グラデーションマスク）、もしくは上記濃度分布マスクを所定の拡大率で拡大したレチクルマスクを用いることを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項9】請求項1～8の何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法において、

上記感光性材料として、フォトレジストあるいは光硬化性樹脂を用いることを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項10】請求項9記載の特殊表面形状の創成方法において、

感光性材料としてフォトレジストを用いる場合には、基板材料の表面に塗布したフォトレジスト層に、濃度分布マスクあるいはレチクルマスクにより所定の3次元的な光強度分布を有するマスクパターンを露光した後、現像、リンス、あるいは、ポスト・エクスポージャー・ベーク、レジスト硬化処理などの工程を経てフォトレジスト層を所望の3次元構造にパターンニングすることを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項11】請求項9記載の特殊表面形状の創成方法において、

感光性材料として光硬化性樹脂を用いる場合には、基板材料の表面に液状の光硬化性樹脂を塗布した後、光硬化性樹脂層が流動性を有する状態で上記濃度分布マスクあるいはレチクルマスクにより所定の3次元的な光強度分布を有するマスクパターンを露光し、露光の照射時間や露光量、加熱による流動性の制御などにより光硬化性樹脂層を表面側から徐々に硬化させ、硬化に伴う光硬化性樹脂の体積減少と流動により上記樹脂層の表面を変形せしめて、所望の3次元構造にパターンニングすることを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項12】請求項1～11の何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法において、

目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめた後、上記感光性材料層と基板に対し異方性エッチングを行って、上記感光性材料層の表面形状を基板表面に彫り移して転写することを特徴とする特殊表面形状の創成方法。

【請求項13】請求項1～12の何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法を用いて、感光性材料層もしくは基板材料表面に光学的曲面を形成したことを特徴とする光学素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は3次元構造を有する特殊表面形状の創成方法及び光学素子に関する。

【0002】

【従来の技術】光学素子の屈折面や反射面に、球面や非球面等に代表される特殊な面形状が使用されるようになってきており、また近來は液晶表示素子や液晶プロジェクタ、あるいは光通信等に関連して、マイクロレンズやマイクロレンズアレイ等にも特殊な面形状が求められている。そこで球面や非球面等の特殊な表面形状を型成形や研磨によらずに創成する方法として、ガラスや金属、樹脂等の基板の表面に曲面等の3次元構造を有する特殊表面形状を創成する方法が提案されている。その一例としては、所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料（フォトリソ等）を塗布して材料層を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて上記感光性材料層に所定の光透過率分布（光強度分布）のマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に依りて上記感光性材料層の厚さを変化せしめて3次元構造の表面形状を形成する方法が知られている

（例えば、本発明者らが先に提案した、特開平7-230159号公報や特開平9-146259号公報に記載のグラデーションマスクとその製造方法およびグラデーションマスクを用いた特殊表面形状の創成方法）。この方法はマイクロレンズ等の曲面形成方法として大変優れており、感光性材料層の表面形状として所望の曲面形状を、露光用マスクとしてグラデーションマスク（濃度分布マスク）を用いたマスクパターンの露光で極めて精度良く形成でき、また、この曲面形状を異方性エッチングにより基板の表面形状として精度良く転写することができ、所望の曲面形状を精度良く形成できる。

【0003】しかし、グラデーションマスクを用いた特殊表面形状の創成方法は、マイクロレンズ等の光学素子の曲面形成方法として優れた点を多く有しているが、その反面、特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するグラデーションマスク（例えば、特開平9-146259号公報記載のグラデーションマスク）を用いて感光性材料層にマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に依りて感光性材料層の厚さを変化せしめる際に、マスク内の光透過率分布曲線の不連続部分が感光性材料層に露光される際にも不連続形状として露光されるため、感光性材料層の表面にも不連続形状（段差）が転写されるという問題がある。そこで上記問題点を解決する方法として、感度の鈍い感光性材料を使用するか、光吸収材料を多めに添加するなどの方法が必要であった。また、露光用マスクを用いてパターンニングする技術は半導体分野においてよく用いられているが、半導体分野においては、2次元的にラインパターンの有無を配置

することが目的であるため、高さ方向に変化する3次元形状を高精度に制御することは行われていなかった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記事情に鑑みなされたものであり、新規な特殊表面形状の創成方法及びその創成方法により形成した光学素子を提供することを目的とする。そして本発明では、グラデーションマスク（濃度分布マスク）等の露光用マスクを用いて特殊表面形状を創成する際の従来の問題を解決するため、

10 ①マスク内の光透過率分布曲線の不連続部分が感光性材料層に露光される際に、感光性材料層に不連続形状（段差）として転写されないようにすること、

②光透過率分布曲線を形成する単位セル内の光透過量、すなわち、露光用マスク上では2次元的な光透過率分布をスムージングすること、

③濃度分布マスク等の露光用マスクの光透過率は、単位セル毎に微視的に観察すると白黒の配置であり、このまま露光すると感光性材料層の高さも（高、低）の白黒濃度情報になってしまうので、これを防止すること、

20 ④感光性材料の感度を落としたり、感度の鈍い感光性材料に材料変更したりすることなしに、高精度に形状転写する方法を提案すること、

⑤高さ方向に滑らかに連続的に変化する三次元形状を高精度に制御すること、

⑥高さ方向に滑らかに連続的に変化する特殊表面形状を有する光学素子を提供すること、を課題としている。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層を形成し、上記特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて上記感光性材料層に所定の光透過率分布（光強度分布）のマスクパターンを露光し、目的とする特殊表面形状に依りて上記感光性材料層の厚さを変化せしめる特殊表面形状の創成方法と、その特殊表面形状の創成方法により製造される光学素子に関するものである。

30 【0006】本発明に係る特殊表面形状の創成方法では、上記のように、所望の3次元構造の特殊表面形状を形成すべき基板材料の表面上に所定の厚さに感光性材料を塗布して感光性材料層を形成し目的の特殊表面形状に対応して予め別途の方法で設計された透過率が段階的に変化する露光用マスクを用い、感光性材料層にマスクパターンを露光する。ここで露光されるパターンは、上記露光用マスクによって形成される3次元パターンである。上記露光用マスクは、基板材料表面に塗布された感光性材料の「感度曲線」と、露光用マスクを構成する各単位セルの「光エネルギー量」の関係から、実験的に求められるととは、プロセス条件によって感光性材料の

「感度特性」及び「光透過量」が異なることを意味する。すなわち、プロセス条件パラメータを変更すると与えられる関数も異なることを意味する。感光性材料の「感度曲線」は、感光性材料への光照射エネルギーと材料の感光性成分の関係で基本的には決定されるものである。但し、パターンニング時のフォトリソグラフィ条件、露光条件、現像条件、あるいはベーク条件等によっても変更される曲線（すなわち関数）である。また、光透過量は、感光性材料中に含まれる分子構造によって光の吸収係数が異なるため、感光性材料中を光が進行する際には、深さに応じて光エネルギー（光量）が減少する。つまり、感光性材料の厚さ（深さ）と照射光エネルギー量は反比例の関係にある。従って、露光用マスクの「光透過率」と感光性材料の「感度」（光吸収率）を実験データから組み合わせると、感光性材料の厚さ方向に分布を有する光エネルギー分布を形成することが可能となる。

【0007】上記方法によって、本発明は、半導体プロセスのように、ある高さ（厚さ）の感光性材料を2次元のラインパターンとして形成するのが目的ではなく、3次元構造の特殊表面形状、すなわち高さ方向にも制御されたパターン性を有する構造物を形成することを目的としている。そして、上記方法によって感光性材料層の厚さを変化せしめる3次元構造の特殊表面形状の創成方法において、感光性材料層へのマスクパターンの露光時に、ステッパー露光やアライメント露光等によりマスクパターンをそのまま露光すると、露光用マスクの単位セルの白黒濃度情報をそのまま感光性材料層に転写することとなり、ステッパー露光装置等の性能が高いほど、半導体のパターンニング時のようにライン・アンド・スペースの2次元配列となる。

【0008】そこで本発明では、露光時のパターンの3次元方向の光エネルギー分布製作方法として、フォーカスを意図的にデフォーカスする方法を採用している。すなわち、基板上の感光性材料層へ露光用マスクのパターンを露光する際に、デフォーカス（焦点ずらし）して露光パターンを僅かに焦点ボケさせ、マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する（請求項1、3）。

【0009】また、別の方法として、本発明では、光透過率が段階的に変化する露光用マスクを用いて基板上の感光性材料層にパターンを露光する際に、拡散光でマスクパターンを露光することで、光透過率分布の段差を解消する（請求項2）。拡散光でマスクパターンを露光する方式の一例としては、露光時に用いる露光用マスクのパターン形成面とは反対側で光源側の面すなわち露光の光入射側に、露光光を拡散させ露光用マスクの単位セルに入射する光成分に斜め入射成分を付加する光学素子を配置する方法がある。より具体的には、感光性材料層へ露光用マスクのパターンを露光する際に、露光用マスクのパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学

素子を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することによりマスクパターンの光透過率分布の段差を解消する（請求項4）。ここで、露光用マスクに入射する光成分の斜め入射成分は、光拡散光学素子（デフューザー）の光学設計によって変化させることが可能であり、目的の斜め入射成分、すなわち拡散角度は、デフューザーの規則的特性（微細構造のピッチ、高さ、パターン幅、材料の屈折率等）を変化させることで、極めて再現性良く管理することができる。また、デフューザーを通過した拡散成分を有する光は、露光用マスク内を通過し、パターン面に到達する際、斜め入射成分の光は単位セルのパターン境界でそれぞれ回折し、感光性材料に到達する。従って、露光用マスクのデジタル的なパターンの段差を解消することができる。

【0010】さらに別の方法として、本発明では、基板上の感光性材料層へ露光用マスクのパターンを露光する際に、拡散光発生方法として上記露光用マスクのパターン形成面とは反対側の面に、光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することにより上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する（請求項5）。より具体的には、本出願人による「プラズマ蒸着法による複屈折膜の製造方法（特願平3-294346号、特願平3-297400号）」等により、露光用マスクのパターン形成面とは反対側の面に光拡散用機能膜を形成する。この光拡散用機能膜は、光透過機能を有すると同時に光拡散機能を有するように少なくとも3層以上の薄膜構成となっており、マスク基板に入射する光を効率良く透過し、且つまた膜厚と成膜物質を変更することによって光拡散性能（複屈折量）を変化させることができる。従って、光拡散用機能膜を通過した拡散成分を有する光は、露光用マスク内を通過し、パターン面に到達する際、拡散成分の光は単位セルのパターン境界でそれぞれ回折し、感光性材料に到達する。従って、露光用マスクのデジタル的なパターンの段差を解消することができる。

【0011】さらにまた別の方法として、本発明では、感光性材料層へ露光用マスクのパターンを露光する際に、拡散光発生方法として上記露光用マスクのパターン形成面に、光透過機能を有する薄い光拡散用機能膜を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することにより上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する（請求項6）。より具体的には、本出願人による「プラズマ蒸着法による複屈折膜の製造方法（特願平3-294346号、特願平3-297400号）」等により、露光用マスクのパターン形成面に光拡散用機能膜を形成する。この光拡散用機能膜は、光透過機能を有すると同時に光拡散機能を有するように少なくとも3層以上の薄膜構成となっており、マスク基板のパターン面を透過した光を効率良く透過し、且つまた膜厚と成膜物質を変更することによって光拡散性能（複屈折量）を変化させるこ

とができる。従って、露光用マスクのパターン面を通過した光は、光拡散用機能膜を透過して拡散成分を有する光として感光性材料に到達するので、露光用マスクのパターンの段差を解消することができる。また、この場合、光拡散用機能膜は露光用マスクのパターン形成面に形成してあるので、請求項5に比較して薄い薄膜で同様の機能を実現するものである。尚、上記の請求項5や請求項6の方法では、拡散光発生方法として露光用マスクの一方側の面に光拡散用機能膜を配置しているが、露光用マスクの両面に光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置してもよい（請求項7）。

【0012】本発明の特殊表面形状の創成方法においては、露光用マスクとして、特殊表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するマスクパターンを有する濃度分布マスク（グラデーションマスク）、もしくは上記濃度分布マスクを所定の拡大率で拡大したレチクルマスクを用いることができる（請求項8）。ここで、濃度分布マスク（グラデーションマスク）としては、①「透明基板上に金属及び／または金属酸化物の膜を形成し、この膜を複数の単位セルに分割して各单位セル内の開口（光透過領域）の面積を制御し、個々の単位セルの光透過領域の面積が、目的とする特殊表面形状に対応して所定の光透過率分布をなすように設定されたもの」や、②「透明基板上に膜厚が段階的に変化する膜を金属及び／または金属酸化物で形成して成り、この膜の膜厚を単位セル毎に制御して全体及び個々の単位セルの膜厚の変化が、目的とする特殊表面形状に対応して所定の光透過率分布をなすように設定されたもの」、③「各单位セルの光透過量を制御する方法として、所望の形状に対応する全体的な光透過量分布を持たせるために、例えば、本発明者らによる特開平7-230159号公報に示した光露光方式によって、各单位セルを透過する光の「光透過面積」と「光透過率（C_r膜厚）」の総合的な組み合わせによってグラデーションマスクを適宜製作することができるようにしたもの」等があり、例えば、②のタイプとしては、本発明者らによる特開平9-146259号公報に記載されたグラデーションマスク等を適宜変更して利用することができる。また、この濃度分布マスクは、例えば所望の表面形状に対して等倍で作製され、アライメント露光法あるいは等倍のステッパー露光法等により感光性材料層に対して等倍のマスクパターンが露光されるが、所望の表面形状に対して所定の拡大率で設計され、上記①、②、③の何れかの方式で作製された拡大濃度分布マスク（レチクルマスク）を用いる場合には、縮小露光式のステッパー露光装置でレチクルマスクのマスクパターンを感光性材料層に縮小露光するステッパー露光法を採用することができる。

【0013】さらに本発明の特殊表面形状の創成方法においては、上記感光性材料として、フォトリソグロムあるいは光硬化性樹脂を用いることができる（請求項9）。

ここで、感光性材料としてフォトリソグロムを用いる場合には、基板材料の表面に塗布したフォトリソグロム層に、上記濃度分布マスクあるいはレチクルマスクにより所定の3次元的光強度分布を有するマスクパターンを露光した後、現像、リンス、あるいは、ポスト・エキスポージャー・ベーク、レジスト硬化処理などの工程を経てフォトリソグロム層を所望の3次元構造にパターンニングする（請求項10）。また、感光性材料として、光硬化性樹脂（可視光または紫外光あるいは赤外光の照射により硬化する樹脂）を用いる場合には、基板材料の表面に液状の光硬化性樹脂を塗布し、光硬化性樹脂層が流動性を有する状態で上記濃度分布マスクあるいはレチクルマスクにより所定の3次元的光強度分布を有するマスクパターンを露光し、露光の照射時間や露光量、加熱による流動性の制御などにより光硬化性樹脂層を表面側から徐々に硬化させ、硬化に伴う光硬化性樹脂の体積減少と流動により上記樹脂層の表面を変形せしめて、所望の3次元構造にパターンニングする（請求項11）。

【0014】さらに本発明においては、請求項1～8のうちの何れか一つに記載の特殊表面形状の創成方法により、目的とする特殊表面形状に応じて上記感光性材料層の厚さを変化せしめた後、上記感光性材料層と基板に対し異方性エッチングを行って、上記感光性材料層の表面形状を基板表面に彫り移して転写することができる（請求項12）。また、上記異方性エッチングを行う際に、選択比（基板の侵蝕速度／感光性材料層の侵蝕速度）を1以外の値に設定することにより、出発形状の持つ凹凸形状の高低差を拡大したり縮小して基板に転写することもできるし、選択比を時間的に変化させ、選択比の時間的な変化を制御することにより、出発形状を所望の形状に変形して転写することもできる。そして、このような方法を利用すると、例えば、非球面等を容易に形成することができる。また、型成形や研磨による方法とは異なり、極めて小さい曲面の形成も可能であるため、マイクロレンズを初めとするマイクロ光学素子の屈折面形状や反射面形状の形成方法として適している。

【0015】本発明の光学素子は、上述した特殊表面形状の創成方法を用いて、感光性材料層もしくは基板材料表面に光学的曲面を形成することにより得られる（請求項13）。この際、上記光学的曲面を、球面または非球面あるいは円錐形状のような連続面で構成することができる。また、上記光学的曲面を、フレネル形状のように連続面と不連続面から構成することもできる。さらに、上記光学的曲面を光透過性の屈折面とすることにより、レンズやプリズム等の光学素子として機能することができる。また、マイクロレンズ、マイクロレンズアレイ（MLA）、プリズム、プリズムアレイ、フレネルレンズ等の種々の透過型光学素子が得られる。また、上記光学的曲面に反射膜を蒸着等の方法で形成して反射面とすることにより、反射型光学素子が得られる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照して詳細に説明する。図1は本発明に係る特殊表面形状の創成方法の一実施形態を示す工程説明図である。図1(a)において、符号10はガラスや金属、樹脂等で構成される基板であり、この基板の表面には感光性材料が塗布されて感光性材料層11が形成されている。ここでは感光性材料の一例としてフォトレジストを用いた場合について説明する。このフォトレジスト11は基板10に塗布された後、ベーキングされてレジスト層となる。尚、図1の例で用いられるフォトレジストはポジ型のものである。

【0017】次に図1(b)に示すように基板10上に形成されたフォトレジスト層11に対して、露光用マスクを用いて所定の方法で図示のような3次元的な光強度分布を持ったマスクパターンの光束LFを露光する。この露光用マスクとしては、例えば所望の表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するマスクパターンを有する濃度分布マスク（グラデーションマスク）、もしくは上記濃度分布マスクを所定の拡大率で拡大したレチクルマスクが用いられ、露光方法としては、所望の表面形状に対して等倍に作製された濃度分布マスクを用いてフォトレジスト層にステッパー露光する方法や、このマスクをフォトレジスト層に密着あるいは近接させて露光するアライメント露光法、あるいは所望の表面形状に対して所定の拡大率で作製されたレチクルマスクを用いて、ステッパー露光装置でマスクパターンをフォトレジスト層に縮小露光するステッパー露光法等がある。尚、濃度分布マスクや露光方法の詳細については後述する。

【0018】上記のマスクパターンの露光後、フォトレジスト層11を現像、リンス後にポスト・エキスポージャー・バーク（PEB）処理して、所望の表面形状に応じてフォトレジスト層11を3次元的にパターンニングする。このパターンニング工程が完了すると、図1(c)に示すように、レジスト層11により、露光時の光強度分布に対応した表面形状（露光量の少ない部分ほどレジスト層の層厚が厚い形状）が形成される。次に、エッチング工程を行い、所望のレジスト表面形状を形成されたレジスト層11と基板10に対して所定の選択比の異方性ドライエッチングを行って、レジスト層11の表面形状を基板10の表面形状として彫り移して転写することにより、図1(d)に示すような3次元構造の表面形状が基板表面に形成される。尚、このエッチング工程においては、上記異方性エッチングの選択比を1より大きく

（すなわち、基板10の侵蝕速度をレジスト層11の侵蝕速度より大きく）設定した場合には、レジスト層11における表面形状の高低差：hに対して、上記表面形状を転写された基板10の表面形状の高低差：Hが大きく（ $H > h$ ）なり、選択比を1とすれば $H = h$ となり、選択比を1より小さく設定すれば $H < h$ となる。

【0019】ここで図1の例は、基板表面に球面または非球面からなる凸の曲面形状12を形成した例であり、基板10として透明なガラス基板や樹脂基板からなる光学基板を用いて上記曲面を屈折面とすることによりマイクロレンズ等の光学素子13として利用することができ、この曲面形状を複数個、1次元あるいは2次元のアレイ配列に形成することによりマイクロレンズアレイを形成することができる。また、上記曲面形状の上に蒸着やスパッタリング等により反射膜を形成すれば反射型光学素子が得られる。

【0020】次に図2は本発明に係る特殊表面形状の創成方法の別の実施形態を示す工程説明図である。図2

(a)において、符号14はガラスや金属、樹脂等で構成される基板であり、この基板の表面には感光性材料が塗布されて感光性材料層15が形成されている。ここでは感光性材料の一例として、硬化に伴い体積の減少する光硬化性樹脂（可視光または紫外光あるいは赤外光の照射により硬化する樹脂）を用いた場合について説明する。この光硬化性樹脂の基板14への塗布は、ロールコート法やスピンコート法、あるいはディッピング法により行うことができるが、形成された樹脂層の表面がうねり等の無い平面となるように、光硬化性樹脂による樹脂層15の塗布形成後、該樹脂層15における樹脂の流動性を高めて樹脂層15の表面を平滑化することが望ましい。

【0021】次に図2(a)に示すように基板14上に形成された樹脂層15に対して、露光用マスクを用いて所定の方法で図示のような3次元的な光強度分布を持ったマスクパターンの光束LFを露光する。この露光用マスクとしては、例えば所望の表面形状に対応して光透過率が段階的に変化するマスクパターンを有する濃度分布マスク（グラデーションマスク）、もしくは上記濃度分布マスクを所定の拡大率で拡大したレチクルマスクが用いられ、露光方法としては、所望の表面形状に対して等倍に作製された濃度分布マスクを用いて樹脂層にステッパー露光する方法や、このマスクを樹脂層に密着あるいは近接させて露光するアライメント露光法、あるいは所望の表面形状に対して所定の拡大率で作製されたレチクルマスクを用いて、ステッパー露光装置でマスクパターンを樹脂層に縮小露光するステッパー露光法等がある。尚、濃度分布マスクや露光方法の詳細については後述する。また、露光用光源としては、光硬化性樹脂の種類及び露光法により適宜選択されるものであり、紫外線ランプ、ハロゲンランプ、赤外線ランプ等の各種ランプ類や、紫外域～赤外域の各種レーザー光源等があり、例えば光硬化性樹脂が紫外線硬化樹脂であれば、光源として水銀灯やメタルハライドランプ等の紫外線ランプ類、あるいは紫外域のレーザー光源等の紫外線光源が用いられる。

【0022】図2(b)は、露光工程開始後の比較的早

い時期における状態を描いている。樹脂層15は所定の光強度分布の光束LFの照射を受けると表面の側から硬化が開始する。図2(b)において、符号15aは硬化した樹脂部分を示しており、照射光束LFの光強度分布において、強度の大きい部分ほど硬化が進むので、硬化した樹脂部分15aの形状は図示の如きものとなる。樹脂層15を構成する光硬化性樹脂は硬化に伴い体積が減少する。すなわち、樹脂層15を構成する樹脂は硬化と共に収縮する。図2(b)において符号15bで示す部分(ハッチングを施した部分)は、図2(a)の状態から樹脂層表面側の樹脂部分15aが硬化したことに伴い減少した体積部分を示している。

【0023】露光工程が行われるとき、樹脂層15を構成する樹脂は流動状態にあるので、上記のように収縮による体積減少が生じると、未硬化の流動状態にある樹脂部分15cには上記体積減少を補償するように流動が生じる(図中の矢印は、この流動の様子を説明図として示している)。さらに時間が経過すると、樹脂層中の硬化した樹脂部分15aは硬化により成長して、図2(c)に示す如き形状となる。符号15bは上記と同様に硬化に伴い減少した体積部分を示し、図中の矢印は、減少した体積部分15bを補償しようとする未硬化の樹脂部分15cの流動状態を示している。ここで、照射光束LFの光強度の強い部分では硬化の進行が速く、硬化に伴う体積の減少も大きいので、周囲からの樹脂の流入量も大きい。このため、光強度の大きい光束が照射された部分では、周囲から樹脂の流入が常時行われているのに対し、周囲の光強度が相対的に弱い光束が照射された部分では、樹脂が高光強度部分へ流出することにより、樹脂層表面は相対的に低下する。

【0024】このようにして、露光が継続的に行われ、樹脂層15を構成する樹脂が完全に硬化すると、図2(d)に示すように、硬化した樹脂層15Aは、露光工程で用いられたマスクパターンの露光光束LFの光強度分布に応じた凸の曲面形状となる。そこで、硬化状態で透明な光硬化性樹脂を用いれば、このような凸の曲面は、例えば凸レンズ面(凸の屈折面)として利用することができる。また、露光工程における露光用マスクの光強度の分布が、例えば、図4(a-1)のようなものであると、この光強度分布に応じて、硬化した樹脂層15Bの形状を、図4(a-2)に示すようなものにすることができるし、光強度の分布が、図4(b-1)の如きものであると、この光強度分布に応じて、硬化した樹脂層15Cの形状を、図4(b-2)に示す如きものにすることができる。すなわち、硬化した樹脂層の表面形状としては、露光用マスクのパターン設計により凸面や凹面等の種々の形態が可能である。また3次元的に見た場合、軸対称の形状や凸や凹の円筒形状や互いに直交する方向で曲率の異なる面等が形成可能である。

【0025】図2(d)において、基板14上で硬化に

より表面を曲面化された光硬化性樹脂層は、そのまま凸レンズ面等として使用可能であるが、樹脂層15Aの表面形状を異方性エッチングにより基板14に転写することができる。図3(a)は、基板14上に図2に示した工程により表面を曲面化された光硬化性樹脂の層15Aを形成した状態を示している。この図3(a)の状態から、硬化した樹脂層15Aと基板14に対して所定の選択比の異方性エッチングを行い、図3(b)に示すように、樹脂層15Aの表面形状を基板14に転写することができる。また、エッチングの際に選択比を調整することにより、基板14に転写される曲面形状16における高低差:Hを、樹脂層15A表面の曲面形状の高低差:hに対して、拡大することも縮小することも可能である。

【0026】次に、図1や図2に示した製造工程の中の露光工程で用いられる濃度分布マスク(グラデーションマスク)とその製作方法及びそのグラデーションマスクを用いた露光方法の一例について説明する。図5は、グラデーションマスクの一例を説明するための図であり、グラデーションマスク17の一部を拡大して示す平面図である。このグラデーションマスク17は、平行平板ガラス等の透明基板にクロム(Cr)等の金属や金属化合物等からなる遮光膜を蒸着等により形成し、この遮光膜をパターンニングして微小な光透過部を配列してなり、個々の光透過部の面積が所定の光透過率分布をなすように設定されたものである。図5においては、説明を簡素化し理解しやすくするために、破線で仕切られた部分は、例えば1辺が数 μm 程度の大きさの正方形領域の場合を示している。言うまでもないが、正方形形状である必要はない。この正方形領域を単位セルとして、各単位セル内に一例として矩形形状の微小な光透過部APが形成されている。ここでも言うまでもないが、上記光透過部は矩形形状である必要はなく、円形状を含めた多角形状で形成させることができる。この光透過部APを透過する光量は光透過部APの面積に比例するので、例えば図のように、矩形形状の光透過部APの面積を2次的に変化させて単位セルを配列することにより、透過光量が段階的に変化する2次的な透過率分布を形成することができる。

【0027】ここで、一例として図1に示したような製造工程で液晶用マイクロレンズアレイ等の所望の3次元構造の特殊表面形状を形成する場合に、その特殊表面形状を形成すべき基板材料表面上に塗布される感光性材料としては、例えば市販のフォトリソ材料(東京応化(株)製TGMPR-950(商品名))等が用いられる。まず、レジスト材料の光照射量とレジスト除去量の関係を把握し、感度曲線を求める。次いで、所望の3次元構造の表面形状に対応して、モデルとなるグラデーションマスクを設計し製作する。このグラデーションマスクは、図5に示す一例のように正方形に分割された単位

セルで構成され、各単位セル内の光透過領域が、所望の表面形状に応じた透過率分布となるように2次元的に設計され、各単位セル内の光透過量が制御されたものである。

【0028】ここで、グラデーションマスクを構成する単位セルの光透過率の制御方法としては、石英ガラス等の透明基板にCr膜を遮光膜として形成した場合、①Cr膜の開口面積を制御する方法、②Cr膜の膜厚を制御する方法、あるいは、③「各単位セルの光透過量を制御する方法として、所望の形状に対応する全体的な光透過量分布を持たせるために、光露光方式によって、各単位セルを透過する光の「光透過面積」と「光透過率（Cr膜厚）」の総合的な組み合わせによってグラデーションマスクを適宜製作する方法」があるが、ここでは一例として③の方法で実施する。すなわち、上述のような単位セル構成のグラデーションマスクの製作方法としては、まず、石英ガラス等の透明基板上に、例えば厚さ200nmのCr膜を蒸着等により成膜し、この上に感光性ポジ型レジスト材料を塗布してマスクブランクスを形成する。そして、上記マスクブランクのレジスト材料層に対して、光ビーム照射装置により光ビームを照射して各単位セルを透過する光の「光透過面積」と「光透過率（Cr膜厚）」の総合的な組み合わせによって所望の形状の透過率分布になるように2次元的にパターンニングする。ここでは、光ビーム照射装置として、図7に示すような自社開発のレーザー光照射装置（レーザー描画装置）を用い、上記レジスト材料層にレーザー光を照射してマスクパターンを描画する。

【0029】図7に示すレーザー光照射装置は、レーザー光発信装置1、レーザー光発信装置1からのレーザー光を複数のレーザー光に分割するビームスプリッター2、レーザー光の光路を折り曲げるミラー3、レーザー光を変調する光変調器と光変調器を制御する制御装置（データバス5からの信号により個々のレーザー光のON、OFFを制御する）4、レーザー光を偏向する光偏向器と光偏向器を制御する制御装置6、レーザー光をレジスト材料層に集光するための対物レンズ7、載置されたマスクブランクスをX方向及びY方向に移動するX-Yステージ8、X-Yステージ8の動作を制御する光学式干渉計9などの主要構成部品から構成されており、設計データに応じてX-Yステージ8の動作と、個々のレーザー光のON、OFFを制御することにより、マスクブランクのレジスト材料層に所望のマスクパターンを描画する。すなわち、レーザー光照射装置によりレジスト材料層にレーザー光を照射して各単位セル毎に光透過領域または遮光領域を所望の透過率分布になるように2次元的にパターンニングする。また、この際、所望の特殊表面形状に応じて演算された各単位セルの透過率分布に応じてレーザー光の照射が制御され、各単位セル内の光透過領域の面積が制御される。

【0030】そして、このレーザー光照射装置によりレーザー光が照射されたレジスト材料部分は、次の現象、リンス工程によって除去され、レジスト材料層にマスクパターンが形成される。次に、このパターンニングされたレジスト材料層をエッチングマスクとしてCr膜をドライまたはウェットエッチングすることにより、所望の2次元的な透過率分布を有するグラデーションマスクが得られる。

【0031】以上のような方法によりパターンニングされたグラデーションマスクの単位セル内では、①Cr膜（遮光膜）の除去された部分と、②Cr膜が薄くなる部分、及び③Cr膜が残っている部分（遮光領域）が形成されるので、これらの総合的な光透過量として一つの単位セルを特徴づけ、構成させることができる。従って、マスクパターンを複数の単位セルで構成し、各単位セル内の光透過領域が、所望の特殊表面形状に応じた透過率分布となるように2次元的に設計し、各単位セルの光透過量を制御することにより、マスクパターンを透過した光が特殊表面形状に対応した3次元的な光強度分布を有する構成のグラデーションマスクが得られる。また、上記の設計時にマスクパターンを所定の拡大率で拡大して設計し、製作すれば、後述のステッパー露光装置で用いるレチクルマスク（拡大マスク）が得られる。

【0032】ところで、上記のようなグラデーションマスクを用いて感光性材料層のパターンニングを行う際には、露光量、デフォーカス量、単位セルの光透過率によって感光性材料の除去量が異なるので、上記プロセス条件毎に感度曲線を作成する。すなわち、光透過率と感光性材料の除去量が特徴づけられた関係を一つの関数（除去量と光透過率（パターンNo.））として表わし、グラデーションマスクの各単位セル内の光透過領域の面積、Cr膜厚等が決定される。尚、上記「感度曲線（除去量と光透過率（パターンNo.））」は、上記の関係をグラフ化し、関数化することによって数式に変換できる。そして、上記数式に基づいて、「目的とする表面形状（例えばマイクロレンズ）の高さ」と「感光性材料の残存量（「感光性材料層の膜厚」-「除去量」）」の関係を数式化する。次いで、コンピュータのCAD上で「レンズ配置位置」と「レンズ高さ（レジスト残存量）」の関係を明らかにする。さらに、これを発展させて、「レンズ配置位置」とマスクの「単位セル・ナンバー」の関係に置き換える。次に、CADデータをデータ化して、レーザー光照射装置の制御部のコンピュータにセットし、順次マスクブランクスにレーザー光を照射してマスクパターンを描画する。そして、これを現像、リンスした後、エッチングすると、所望のレンズ形状に対応した「単位セル・ナンバー」の単位セルが規則的に「レンズ配置位置」に並んだ、目的のグラデーションマスクが製作できる。従って、このようにして、目的の3次元構造の表面形状に対応したグラデーションマスク（あるいはレチク

ルマスク)を設計し、製作する。

【0033】次に、上記の方法によって製作されたグラデーションマスクを用いた露光方法について述べる。上記のような特性を有する単位セルを規則的に配置したグラデーションマスクを製作し、所望の特殊表面形状を形成すべき基板上に形成された感光性材料層に対して、所定の方法でマスクパターンを露光する。この際、露光方法としては、図8に示すように、グラデーションマスク25のマスクパターンを基板26上の感光性材料層27に略等倍で投影して露光する露光装置を用いる方式や、図9に示すように、基板26上の感光性材料層27に対してグラデーションマスク28を密着あるいは近接して配置し、マスクの背面から均一な光強度分布の光束BFを照射するアライメント露光方式があり、さらには、露光用マスクとして、目的とする表面形状に対して所定の拡大率で拡大して形成したグラデーションマスク、すなわちレチクルマスクを用い、図10に示すような構成のステッパー露光装置を用いてマスクパターンを縮小露光するステッパー露光方式がある。

【0034】ここで、図8、図9のアライメント及びコンタクト露光装置を用いた場合、光源21から放射された光束はコリメートレンズ22により平行光束化され、ミラー23で光路を鉛直下方に曲げられてビームエキスパンダ24に入射し、光束径を所望の大きさに拡大された後、グラデーションマスク25を通過する。このグラデーションマスク25は上述したように透過光束の光強度分布を所望の分布にするための透過率分布を有しているので、所望の光強度分布を有する光束が基板26上の感光性材料層27に照射されてマスクパターンが露光される。この露光方式の場合、マスクパターンの露光状態はグラデーションマスク25と感光性材料層27の距離dで異なり、グラデーションマスク25と感光性材料層27の距離dが近接している場合には、グラデーションマスク25の段階的な透過率分布により、感光性材料層27に露光される光束の光強度分布も段階的なものとなるが、グラデーションマスク25と感光性材料層27の距離dを所定の距離(アライメント量)だけ離すことにより、光の回折作用によりデフォーカスな状態でマスクパターンが露光されることになり、光強度分布の段差を解消することができる。

【0035】尚、図8の露光装置において、光源21は感光性材料層27の種類に応じて適宜選択されるものであり、感光性材料層27がフォトリソの場合には、そのフォトリソの感度に応じた波長域のレーザー光源やランプ光源が用いられ、感光性材料層27が光硬化性樹脂の場合には、その光硬化性樹脂の種類に応じて紫外線ランプ、ハロゲンランプ、赤外線ランプ等の各種ランプ類や、紫外域～赤外域の各種レーザー光源等が用いられる。

【0036】また、図9に示すような露光方式では、グ

ラデーションマスク28を基板26上の感光性材料層27に対して微小間隔を隔して配備し、グラデーションマスク28を介して均一な光強度分布を持つ露光用の光束BFで露光するが、図5に示すような単位セル構成のグラデーションマスクを用いた場合には、グラデーションマスク28を通過した直後の光強度分布は、微小な光透過部の配列に従う段階的な変化をしているが、グラデーションマスク28と感光性材料層27との間に所定の間隙(例えば50μm程度)をもたせることによりデフォーカスさせ、この間隙部分での光の拡散作用で光強度分布が連続的に均され、感光性材料層27の表面では、連続した光強度分布を持った露光を実現できる。

【0037】次に図10に示すようなステッパー露光装置でマスクパターンを基板29上の感光性材料層に縮小露光するステッパー露光法では、所望の表面形状に対して所定の拡大率で製作されたレチクルマスクを用い、そのマスクパターンを縮小露光するので、所望の特殊表面形状を高精度に創成することが可能である。例えば、5倍の拡大率で製作されたレチクルマスクを用い、ステッパー露光法で、マスクパターンを感光性材料層に1/5に縮小して露光する場合、図8や図9の方式に比べて5倍の精度で特殊表面形状を創成することが可能となる。

【0038】図10に示すステッパー露光装置は、光源ランプ30からの光を集光レンズ31により集光し、均一な光強度の照射光としてレチクルマスク32に照射し、レチクルマスク32を透過した光を縮小倍率の結像レンズ33に入射し、X-Yステージ34上に載置された基板37上の感光性材料の表面に、レチクルマスク33の縮小像を結像し、ステッピングモータ35、36でX-Yステージ34を順次移動してマスクパターンを露光するものである。この露光方式の場合、マスクパターンのフォーカス位置を感光性材料層に合焦させて露光した場合には、グラデーションマスク32の段階的な透過率分布により、感光性材料層に露光される光束の光強度分布も段階的なものとなるが、マスクパターンのフォーカス位置を感光性材料層から僅かにずらすことにより、デフォーカスな状態でマスクパターンが露光されることになり、光強度分布の段差を解消することができる。

【0039】次に図6は、グラデーションマスクの別の例を説明するための図である。このグラデーションマスク18は、図6(a)に示すように、透明基板としての透明な平行平板19の片面に、膜厚が段階的に変化する膜20を金属及び/または金属酸化物で形成してなり、膜20の厚さの変化が、所定の光透過率分布をなすように設定されたものである。このように膜厚が段階的に変化するグラデーションマスク18としては、例えば本発明者らにより先に提案された特開平9-146259号公報に記載されたものがあり、その製作方法も上記公報に記載された方法を適宜利用することができる。

【0040】図6(a)に示すような構成のグラデーシ

ョンマスクの場合も、露光方式としては前述の図8、図9、図10を参照して説明した各露光方式を用いることができる。ここで一例として、図9のアライメント方式による露光方法について述べる。図6(a)に示すグラデーションマスク18を、感光性材料層(フォトリソ層あるいは光硬化性樹脂層)の表面に密接させて、膜20の形成されていない面(平行平板19の反対側の面)から均一な光強度分布の光束を照射すると、感光性材料層の表面には、膜20の段階的な膜厚変化に応じた段階的な透過率変化により、例えば、図6(b)に示すような段階的な光強度分布となるが、この場合にも、グラデーションマスク18を感光性材料層に対して微小間隔分離して、反対側の面から均一な光で照射すれば、上記微小間隔における光の拡散により、感光性材料層に対して図6(c)に示すような滑らかに連続して変化する光強度分布のパターンが露光される。また、図10に示したステッパー露光装置を用いる場合には、マスクパターンのフォーカス位置を感光性材料層から僅かにずらすことにより、デフォーカスな状態でマスクパターンが露光されることになり、光強度分布の段差を解消することができる。

【0041】以上、グラデーションマスクと露光方式の例について説明したが、図5あるいは図6に示すようなグラデーションマスクの光透過率分布の段差を解消する方法として、上述の例ではマスクパターンの露光時にデフォーカスさせて露光する方法について述べたが、その他の段差解消方法として、露光用マスクのパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学素子を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することによりマスクパターンの光透過率分布の段差を解消する方法がある。図11はその一例を示しており、石英基板38a上にCr膜によるマスクパターン38bが形成されたグラデーションマスク37のパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学素子39を配置した例である。この光拡散光学素子39としては、マスクパターン形成前の基板38aに直接形成しておくことができ、一例としては、基板38aの光入射側に、ピッチ:5 μ m、高さ:1.2 μ mのマイクロレンズアレイ(MLA)をレジスト熱変形法等によって形成する。次いで基板38aの光拡散光学素子39が形成された面とは反対側の面にCr膜によるマスクパターン38bを形成すれば、光拡散光学素子39を備えたグラデーションマスク37が得られる。図11に示す構成のグラデーションマスク37では、光入射面側に微小なマイクロレンズアレイからなる光拡散光学素子39を備えているので、拡散成分を有する光束でマスクパターンを露光でき、マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することができる。

【0042】次に、グラデーションマスクの光透過率分布の段差を解消するさらに別の方法としては、露光用マスクのパターン形成面とは反対側の面(光入射側の

面)、あるいは露光用マスクのパターン形成面(光出射側の面)、あるいは露光用マスクの両方の面に、光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置し、拡散光でマスクパターンを露光することにより上記マスクパターンの光透過率分布の段差を解消する方法がある。図12はその一例を示しており、石英基板40上にCr膜によるマスクパターン45が形成されたグラデーションマスクを製作した後、そのグラデーションマスクのパターン形成面に、アンダーコート(SiO₂等)41と、光拡散用機能膜(Ta₂O₅、W₂O₅等)42、及び反射防止機能膜(ZrO₂/MgF₂/ZrO₂等)を順次形成し、石英基板40のパターン形成面とは反対側の面(光入射側の面)に反射防止機能膜44を形成した例である。図12に示す構成のグラデーションマスクでは、パターン形成面に光拡散機能と反射防止機能膜を有する光拡散用機能膜を備えているので、拡散成分を有する光束でマスクパターンを露光でき、マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することができる。尚、図12の例では、パターン形成面側に光拡散用機能膜を形成しているが、石英基板40のパターン形成面とは反対側の面(光入射側の面)、あるいは両方の面に光拡散用機能膜を形成しても同様の効果が得られる。

【0043】以上、本発明に係る露光用マスク(グラデーションマスクまたはレチクルマスク)とそのマスクを用いた露光方式、及び光透過率分布の段差解消方法の例について説明したが、これらのマスク及び露光方式を適宜選択して用いることにより、図1や図2の中の露光工程で示した滑らかな光強度分布が実現でき、感光性材料層に段差が解消された所望の3次元構造の表面形状を創成することができる。また、その感光性材料層に創成した表面形状を、基板に転写することができる。

【0044】次に、感光性材料層と基板に対し異方性エッチングを行って、上記感光性材料層の表面形状を基板表面に彫り移して転写する際に、異方性エッチングの選択比を時間的に変化させることにより、基板上に転写される表面形状を変形させることが可能である。図13(a)は、基板10上に、表面を曲面化されたレジスト層11を形成した状態を示している。このような曲面形状を出発形状とするエッチング工程において、選択比を時間的に変化させると、基板10に、例えば図13

(b)に示す如く、出発形状と全く異なる曲面形状として転写することができる。この例においては、出発形状の裾野部分(図中に「I」で示す部分)を転写する時の選択比を1より大きく設定することにより、基板10にはこの部分Iの傾きを大きくして転写し、次の中間領域IIの転写に際しては選択比を略1に設定して出発形状に近い形状を転写し、最後に、中央領域IIIの転写に際しては再度、選択比を1より大きく設定して、出発形状における領域IIIの高低差を拡大して転写している。このように、選択比を変化させつつエッチング工程を行うこ

とにより、出発形状に所望の変形を施して基板10の表面形状12として転写することができる。

【0045】

【実施例】次に、本発明に係る特殊表面形状の創成方法及び光学素子の具体的な実施例として、液晶デバイスに用いられる微小寸法のマイクロレンズアレイ(MLA)を製作する場合と、光通信用光学素子として大口径、高サグ量のマイクロレンズ(ML)を製作する場合の実施例について説明する。

【0046】(実施例1)図15は液晶プロジェクター用の液晶デバイスの一例を示す図であり、図中の符号201はTFT基板、202はマイクロレンズアレイ基板、203は平面基板、205は液晶層を示している。TFT基板201の液晶層205に接する側の面には、各画素を駆動するためのTFT201Aとバスライン(図示せず)が形成され、これらTFT201Aとバスラインに覆われていない部分が画素としての開口部201Bになっている。また、符号201Cは透明導電膜を示している。TFT基板201と共に液晶層205を挟持する平面基板203は透明な平行平板で、液晶層205に接する側の面にはブラックマトリックス204が形成され、このブラックマトリックス204上には透明電極204AがITO膜により形成されている。マイクロレンズアレイ基板202には、平面基板203に接する側の面に屈折面として凸のマイクロレンズ302のアレイ配列、すなわちマイクロレンズアレイが形成されている。図16は上記マイクロレンズアレイ基板202を示す図であり、符号303はスペーサ部を示す。図中の符号hはスペーサ部303の(マイクロレンズ302形成面からの)高さを示しており、h'はマイクロレンズ302の高さを示している。このh、h'は関係： $h \geq h'$ を満たすことが必要であり、スペーサ部303は、個々のマイクロレンズ302の高さ以上の高さに形成されている。

【0047】実施例1は、図15、16に示すような微小ピッチで配列されたマイクロレンズアレイを製作する例であり、マイクロレンズ302の隣接間隔を限りなく零に近づけて製作する例である。ここで、図17に示すように、液晶プロジェクター用の液晶デバイスの画素302Aを正方形と想定し、その画素サイズ(面積)を $XA \times XA$ とした場合に、0.9" XGA用の液晶素子の画素サイズは約 $\square 18 \times 18 (\mu m)$ であるので、理想的にはこの画素サイズと同じ大きさのマイクロレンズを配置したマイクロレンズアレイとすることが望ましい。しかし、マイクロレンズアレイを形成する場合に、レンズの両側に各 $1 \mu m$ ずつのレンズ非形成部がある場合(レンズ間に隙間がある場合)には、レンズ形成領域は図中に破線で示した領域302Bとなり、その面積 $XB \times XB$ は $\square 17 \times 17 (\mu m)$ となり、全体の面積に占めるマイクロレンズアレイ面積の比率は、 $(17 \times 1$

$7) / (18 \times 18) \times 100 = 289 / 324 \times 100 = 89.2$ となり、マイクロレンズアレイで全ての光を有効に集光することができても、89.2%の集光効率でしかない。したがって、マイクロレンズの非形成部の面積を小さくすることが光利用効率を向上させる上で重要であり、図15、16に示す例のように、マイクロレンズ302の隣接間隔を限りなく零に近づけることが望ましい。

【0048】次に、図15、16に示すようなマイクロレンズアレイを製作するに当たって、まず、前述した方法で製作される濃度分布マスクを予め用意する。具体的には、本実施例では、図10に示すようなステッパー露光装置を用いて1/5倍の縮小露光を行うので、実際に製作した濃度分布マスクは、マイクロレンズ形状を5倍に拡大したマスクパターンのレチクルマスク(拡大マスク)であり、そのレチクルパターン寸法は、 $\square 90 \times 90 (\mu m)$ である。図14はマイクロレンズ1個分のマスクパターンの一例を示しており、このマスクパターン46はCr遮光膜の開口面積と膜厚が制御された多数の単位セルに分割された構成となっている。本実施例では、この一つのマイクロレンズ部分を、単位セルのサイズを $3.0 \times 3.0 (\mu m)$ として、

縦×横 $= 30 \times 30$ (個) $= 900$ (個)の単位セルに分割したマスクパターンを設計する。このマスクパターンの設計においては、中央部単位セル(レチクルマスク上： $3 \times 3 (\mu m)$ →実際のパターンでは $0.6 \times 0.6 (\mu m)$)には単位セル・ナンバー1番(Cr遮光膜が全部残った状態)の単位セルを配置する。また、マイクロレンズ形成領域の四隅部分には、単位セル・ナンバー80番(Cr遮光膜の残り部分無し)を配置する。そして、この間の単位セル・ナンバー1～80の単位セルには、各「階調(光透過量)」に対応する「開口面積」と「Cr膜厚」の分布を対応させ、目的とするレンズ面形状に応じた2次元的な透過率分布となるように設計してCADデータを作成する。尚、このレンズ面形状と単位セル・ナンバーの関係は、前述したように露光プロセスと感光性材料の感度曲線から得られる関係である。勿論、感光性材料や露光プロセスが異なればその都度、感度曲線を把握する必要がある。

【0049】上記の基本的な考え方に基づいて、詳細なデータに裏づけされた計算式とプログラムから、パーソナルコンピュータ上のCAD設計画面上でレンズ高さとマスクパターンの単位セル・ナンバーを関数付けて単位セル・ナンバーを配置し、CADデータを作成する。次に、石英ガラスに感光性材料を塗布したマスクブランクスを用意し、図7に示したレーザー光照射装置のX-Yステージ8にセットした後、上記のようにして作成されたCADデータをレーザー光照射装置の制御部に入力してX-Yステージ8の移動とレーザー光源1のON、OFFを制御しながら、所定の方法でマスクブランクスに

レーザー光を照射してマスクパターンを描画する。そして、所定の方法で現像、リンスを行うことにより、感光性材料層にマスクパターンが得られた。次に、パターンニングされた感光性材料層をエッチングマスクとして、Cr用のウェットエッチング液にてCr膜のエッチングを行った。この方法によって、図14に示すようなパターンで、各単位セルが目的とする開口面積と膜厚を有し、且つ全体としてレンズ形状に対応した2次元的な透過率分布を有するレチクルマスクを製作した。

【0050】次に、上記のレチクルマスクを使用したマイクロレンズアレイの製作方法の一例を述べる。製造方法としては、図1と同様の製造工程で行った。まず、図1(a)に示すように、所望の表面形状を形成すべき基板10としてネオセラム基板を用意し、この基板10上に感光性材料として市販のフォトレジスト(東京応化(株)製TGMR-950(商品名))11を8.56 μm の厚さになるように塗布する。次にフォトレジスト11を塗布した基板10をホットプレート上に載せ、100℃の加熱温度にてベーク時間:180秒でプリベークした。次に、レジスト層11が形成された基板10を図10に示したような構成のステッパー露光装置のX-Yステージ上にセットし、上記のレチクルマスクを露光用マスクとして1/5倍の縮小率でステッパー露光した。露光条件は、マスクパターンの結像位置をレジスト層11の表面から僅かにデフォーカスさせ、デフォーカス量を+25 μm 、露光光束LFの照射量を390mW \times 1.92秒(照度:720mJ)とした。また、このマスクパターンの露光では、図1(b)に示すように、マイクロレンズアレイのレンズ面形状に対応した光強度分布のパターンが露光されるので、レジスト層11は、マイクロレンズ形状に対応して3次元的に感光される。上記の露光工程終了後、PEB(ポスト・エキスポージャー・ベーク)を105℃の温度で270秒間実施することにより、図1(c)に示すように、レジスト層11によるマイクロレンズ形状が得られた。次いで、上記基板22を紫外線硬化装置の真空槽内にセットし、180秒間、真空引きをしながら紫外線照射を実施して、レジスト層のハードニングを行った。この操作によって、レジストの耐プラズマ性は向上し、次工程での加工に耐えられるようになる。尚、この時のレジスト高さは、6.7 μm であった。

【0051】次に、上記基板10をTCPドライエッチング装置の真空槽内にセットし、真空度:1.5 \times 10⁻³Torrに真空排気した後、CHF₃:5.0sccm、CF₄:5.0sccm、O₂:2.0sccmの混合ガスを真空槽内に導入し、基板バイアス電力を600W、基板の上方に配設した上部電極(アンテナ電極)の電力を1.25KW、基板冷却温度を-20℃、とした条件下で異方性のドライエッチングを行った。また、この時、基板バイアス電力と上部電極電力を経時的に変化さ

せ、時間変化と共に異方性ドライエッチングの選択比を(小さくなるように)変更しながらエッチングを行った。基板10の平均エッチング速度は、0.63 μm /分であったが、実際のエッチング時間は、11.5分を要した。以上のドライエッチング工程を経てレジスト層の形状が基板に彫り移され(図1(d))、図16に示すような断面形状のマイクロレンズアレイが製作された。また、エッチング後のレンズ高さHは、H=5.33 μm であった。

【0052】(実施例2)次に、実施例1と同様の液晶デバイス用マイクロレンズアレイを製作する際の別の実施例を示す。この実施例においても、0.9"-XGA用の液晶素子の画素サイズを $\square 18 \times 18 (\mu\text{m})$ として、図16のように隣接間隔を限りなく零に近づけたマイクロレンズアレイを製作する。本実施例では、露光工程で用いる露光用マスクとして、実施例1と同様に作製されるレチクルマスクの光入射側に光拡散機能を有する微小光学素子を設けたものを使用する。図11はその一例を示しており、石英基板38a上にCr膜によるマスクパターン38bが形成されたレチクルマスク37のパターン形成面とは反対側で光源側の面に光拡散光学素子39を配置した例である。この光拡散光学素子39としては、マスクパターン形成前の基板38aに直接形成しておくことができ、一例としては、石英基板38aの光入射側に、ピッチ:5 μm 、高さ:1.2 μm のマイクロレンズアレイ(MLA)をレジスト熱変形法等によって形成する。次いで基板38aの光拡散光学素子39が形成された面とは反対側の面に、実施例1と同様の方法によってCr膜によるマスクパターン38bを形成する。これにより、光拡散光学素子39を備えたレチクルマスク37が得られる。図11に示す構成のレチクルマスク37では、光入射面側に微小なマイクロレンズアレイからなる光拡散光学素子39を備えているので、拡散成分を有する光束でマスクパターンを露光でき、実施例1記載の単位セルで構成されたマスクパターンの光透過率分布の段差を解消することができる。

【0053】尚、このレチクルマスクは図10に示すステッパー露光装置にセットされ、実施例1と同様の露光工程が実施されるが、この際、レチクルマスクは光拡散光学素子39を備えているので、デフォーカスさせる必要はない。また、光拡散光学素子を備えたレチクルマスクを用いて露光工程を行う以外は、実施例1と同様に行った。すなわち、露光後のPEBやエッチング等の条件は実施例1と同じである。

【0054】(実施例3)次に、実施例1と同様の液晶デバイス用マイクロレンズアレイを製作する際の別の実施例を示す。この実施例においても、0.9"-XGA用の液晶素子の画素サイズを $\square 18 \times 18 (\mu\text{m})$ として、図16のように隣接間隔を限りなく零に近づけたマイクロレンズアレイを製作する。本実施例では、露光工

程で用いる露光用マスクとして、実施例1と同様に作製されるレチクルマスクのパターン形成面とは反対側の面（光入射側の面）、あるいはレチクルマスクのパターン形成面（光出射側の面）に、光透過機能を有する光拡散用機能膜を配置したものを使用する。図12はその一例を示しており、実施例1と同様の方法で、石英基板40上にCr膜によるマスクパターン45が形成されたレチクルマスクを製作した後、そのレチクルマスクのパターン形成面に、例えば、本出願人による特願平11-288430号公報記載の薄膜形成方法を用いて、中心波長をi線に合せて、基板側からアンダーコート41としてSiO膜をλ/4、光拡散用機能膜42としてTa₂O₅の膜をλ/4、反射防止機能膜43としてZrO₂・0.4+MgF₂・0.2+ZrO₂・0.4の等価膜を順次形成し、石英基板40のパターン形成面とは反対側の面（光入射側の面）には反射防止機能膜44を形成した。図12に示す構成のレチクルマスクでは、パターン形成面に反射防止機能を有する光拡散用機能膜を備えているので、拡散成分を有する光束でマスクパターンを露光でき、マスクパターンの光透過率分布の段差を解消することができる。また、図12の例では、パターン形成面側に光拡散用機能膜を形成しているが、石英基板40のパターン形成面とは反対側の面（光入射側の面）あるいは両方の面に光拡散用機能膜を形成しても同様の効果が得られる。

【0055】尚、このレチクルマスクは図10に示すステッパー露光装置にセットされ、実施例1と同様の露光工程が実施されるが、この際、レチクルマスクはパターン形成面に反射防止機能を有する光拡散用機能膜を備えているので、デフォーカスさせる必要はない。また、光拡散用機能膜を備えたレチクルマスクを用いて露光工程を行う以外は、実施例1と同様に行った。すなわち、露光後のPEBやエッチング等の条件は実施例1と同じである。

【0056】（実施例4）本実施例では、光通信用光学素子として大口径、高サグ量のマイクロレンズを形成することを目的とする。本実施例は、従来工法では製作が困難であるレンズ高さの高い、短焦点距離マイクロレンズの例であり、更には、両面がマイクロレンズのレンズ構成である。以下、この両面マイクロレンズの形状を特殊表面形状として製作した実施例を述べる。従来の工法では、レンズ高さが高い場合には感光性材料を厚く塗布し、これをバタニングする必要があった。しかし、こ

の場合には感光性材料の厚塗り、バタニング性、熱変形性等の問題があり、上記のようなレンズ高さの高い短焦点距離マイクロレンズを製作することは困難であった。また、エッチングの際に選択比を変更する、具体的には選択比を1以上とする方法があるが、選択比を大きくするには限界がある。

【0057】本実施例では、感光性材料として光硬化性樹脂を用い、図2、3と同様の製造工程で両面マイクロレンズを製作する。この際、用いた光硬化性樹脂の収縮量は6.8%、移動量は目的とするレンズ径の数十分の一程度である。また、光硬化性樹脂の感度や移動量、収縮量は、材料毎に定まる物理量で、材料固有の物性値である。また、本実施例では、直径約800μmに対して変形後の高さが20~30μmであり、その比は30分の1程度であるため、十分な変形能力を有しているの

で、移動量や収縮量からの制約は受けない。

【0058】本実施例で目的とするレンズ面形状は第1面、第2面とも非球面形状であり、その非球面形状は、曲率半径：R、光軸からの距離：Y、円錐定数：k、高次の定数：a、b、・・・、光軸方向の高さ：Xを用いて次の多項式で表され、その非球面マイクロレンズの設計結果は下記の表1に示す通りである。

$$X = (Y^2/R) / [1 + \sqrt{1 - (k+1)(Y/R)^2}] + aY^4 + bY^6 \cdots$$

【0059】また、本実施例の場合は、マイクロレンズは単レンズ構成であるので、レンズ間隔の考慮は不要である。さらに、膜厚は、光硬化性樹脂の収縮変形量（本実施例では10μm程度）の2倍（約20μm）とした。また、露光用マスクとしては、図6に示すような膜厚を制御したグラデーションマスクを用い、図9に示すような露光方式により実施した。この時のアライメント量は、従来の実績データから20μmとし、マスクパターンがデフォーカス状態で露光されるようにした。そして、これらの条件と目的形状をパーソナルコンピュータに入力し、所定の計算式から二次元的な透過率分布のマスクパターンを設計し、製作する。尚、膜厚を制御したグラデーションマスクとしては、本発明者らが先に提案した特開平9-146259号公報記載の方法を用いて、マイクロレンズの第1面と第2面の形状に対応するグラデーションマスクをそれぞれ設計、製作した。

【0060】

【表1】

項目		内容	備考	
基板の厚さ		1.05mm		
基板の材質		ネオセラム		
基板の屈折率		1.541	$\lambda=500\text{nm}$	
第1面	レンズの直径		699 μm	D
	曲率半径		2.922mm	R
	レンズの高さ		20.81 μm	H
	非球面定数	Conic	-0.999155	k
		4次	-0.010321	a
		6次	0.0020539	b
第2面	レンズの直径		797 μm	D
	曲率半径		2.657mm	R
	レンズの高さ		-29.82 μm	H
	非球面定数	Conic	-1.050663	k
		4次	0.0106659	a
		6次	0.0010284	b
焦点距離		2.754mm		
物体距離		2.45mm		
像面距離		100.00mm		

【0061】まず、第1面を加工する。最初に、直径： $\phi 4"$ のネオセラム基板に、光硬化性樹脂としてアクリル系接着剤（大日本インキ（株）製GRANDIC RC-8720（商品名））を基板温度：20℃にて、膜厚：20 μm になるようにスピンコーターを用いて塗布し樹脂層を形成する。25℃におけるアクリル系接着剤の粘度は1100 CPSであり、厚膜塗布がスピンコーターで可能となる。この後、基板温度をホットプレート上で30℃まで上昇させ、接着剤の粘度を795 CPSまで低下させ、未硬化樹脂の表面うねりの均一化を図る。次いで、基板温度を20℃以下に下げ粘度を低下させる。これにより樹脂層の移動度が低下し、基板の取り扱いが容易になる。

【0062】次に、この基板を半導体アライナー上にセットする。一方、上記の設計データに基づいて製作したグラデーションマスクをアライナーにセットする。その後、所定の作業によって、アライメント量：20 μm の条件下で、グラデーションマスクの背面側から露光光束（例えば、紫外線）を7 mW/cm²の照度で200秒照射し、照射積算光量：1400 mJ/cm²を照射する。この際、樹脂層の変化量が大きいので、露光光束を低照度で長時間照射しながら樹脂層を硬化させる。この間、照射初期には基板を加熱して温度を30℃まで上昇させる。また、光照射時間：200秒の間にも基板は光によって加熱され、照射終了時には基板温度が40℃まで上昇した。この間、樹脂層の粘度は低下し、硬化と共に樹脂層は収縮し、その高さは高くなる。

【0063】次に、上記の処理の後、基板温度をさらに50℃まで上昇させる。すると、樹脂層の粘度は217 CPSまで上昇する。この状態で基板を5分間放置すると、次第に光硬化していない部分（表面層の凹部）の樹脂が流動し、表面張力で表面が平坦化する。勿論、この処理を省くことによって、レンズ周辺の凹形状を残すこと

もできる。この工程後、基板表面全面に、均一の平行光を照射し、樹脂を完全に硬化させる。上記の方法によって硬化した樹脂層の表面形状を評価したところ、下記のような結果が得られた。マイクロレンズ直径：D=699 μm 、樹脂の高さ：h=20.9 μm 、基板から樹脂トップまでの高さ：H=30.8 μm であった。

【0064】次に、上記形状の樹脂層を有する基板を半導体用のTCPドライエッチング装置の真空槽内にセットし、真空度：3.0×10⁻⁴ Torrに真空排気した後、Ar：5 sccm、CF₄：20 sccm、CHF₃：5 sccmの混合ガスを真空槽内に導入し、基板バイアス電力を1100 W、基板の上方に配設した上部電極（アンテナ電極）の電力を1200 W、基板冷却温度を-20℃、とした条件下で異方性のドライエッチングを行った。この時のエッチング速度は、基板、樹脂層ともに0.85 μm /分であった。また、基板材料と樹脂層のエッチング速度の比（選択比）は1であった。この条件下で、39分間エッチングを行った。このエッチング後の基板の表面形状を測定した結果、基板の第1面加工後の形状は下記の通りである。

マイクロレンズ直径：D=699 μm

レンズ高さ：H=20.9 μm

曲率半径：R=2.657 mm

【0065】次に上記と同様の工程で第2面を製作する。まず、第1面を加工した基板の裏面（第2面）側に、光硬化性樹脂としてアクリル系接着剤（大日本インキ（株）製GRANDIC RC-8720（商品名））を基板温度：20℃にて、膜厚：20 μm になるようにスピンコーターを用いて塗布し樹脂層を形成する。次に、この基板を半導体アライナー上にセットする。一方、上記の設計データに基づいて製作したグラデーションマスクをアライナーにセットする。その後、所定の作業によって、アライメント量：30 μm の条件下で、グラデーションマス

クの背面側から露光光束（例えば、紫外線）を7mW/cm²の照度で220秒照射し、マスクパターンを照射光量：1540mJ/cm²まで照射して、樹脂層を硬化させる。この間、照射初期には基板を加熱して温度を30℃まで上昇させる。また、光照射時間：220秒の間にも基板は光によって加熱され、照射終了時には基板温度が40℃まで上昇した。この間、樹脂層の粘度は低下し、硬化と共に樹脂層は収縮し、その高さは高くなる。

【0066】次に、上記の処理の後、基板温度をさらに50℃まで上昇させ、この状態で基板を5分間放置すると、次第に光硬化していない部分（表面層の凹部）の樹脂が流動し、表面張力で表面が平坦化する。勿論、この処理を省くことによって、レンズ周辺の凹形状を残すこともできる。この工程後、基板表面全面に、均一の平行光を照射し、樹脂を完全に硬化させる。上記の方法によって硬化した樹脂層の表面形状を評価したところ、下記のような結果が得られた。マイクロレンズ直径：D=798μm、樹脂の高さ：h=29.9μm、基板から樹脂トップまでの高さ：H=40.5μmであった。

【0067】次に、上記形状の樹脂層を有する基板を半導体用のTCPドライエッチング装置の真空槽内にセットし、真空度：3.0×10⁻⁴Torrに真空排気した後、Ar：5sccm、CF₄：20sccm、CHF₃：5sccmの混合ガスを真空槽内に導入し、基板バイアス電力を1100W、基板の上方に配設した上部電極（アンテナ電極）の電力を1200W、基板冷却温度を-20℃、とした条件下で異方性のドライエッチングを行った。この時のエッチング速度は、基板、樹脂層ともに0.85μm/分であった。また、基板材料と樹脂層のエッチング速度の比（選択比）は1であった。この条件下で、51分間エッチングを行った。このエッチング後の基板の表面形状を測定した結果、基板の第2面加工後の形状は下記の通りである。

マイクロレンズ直径：D=790μm

レンズ高さ：H=30.0μm

曲率半径：R=2.641mm

【0068】尚、第1面と第2面の光軸合せ精度はφ0.2μm以下であった。また、このマイクロレンズを光通信用モジュールに組み込み、光学性能を評価したところ、下記の性能が得られた。

出射側/入射側の光ファイバー径（コア径）：8μm
ファイバーからの発散角（半角）：8°（全角：16°）

ダミーピンホール：レンズ端面から50mmの位置にて500μm径

レンズ性能（光損失）目標値：4dB以下

レンズ性能（光損失）結果：3.81dB

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、

新規な特殊表面形状の創成方法及びその創成方法により形成した光学素子を提供することができる。そして本発明では、グラデーションマスク（濃度分布マスク）あるいはレチクルマスク等の露光用マスクを用いて感光性材料層に特殊表面形状を創成する際に、露光用マスクの2次元的な光透過率分布をスムージングして、マスク内の光透過率分布曲線の不連続部分が感光性材料層に露光されないようにすることができるので、感光性材料層に不連続形状（段差）として転写されないようにすることができる。従って、本発明によれば、感光性材料の感度を落としたり、感度の鈍い感光性材料に材料変更したりすることなしに、高精度に形状転写することができ、高さ方向に滑らかに連続的に変化する3次元形状を高精度に創成することができる。また、感光性材料層に形成した3次元形状を異方性エッチングにより基板に転写することにより、基板上に3次元構造の特殊表面形状を創成することができる。従って、本発明によれば、感光性材料層あるいは基板上に、高さ方向に滑らかに連続的に変化する3次元構造の特殊表面形状を容易に創成することができ、この表面形状を光学的曲面とすることにより、光通信の大口径マイクロレンズや、液晶デバイス用の微小ピッチ・マイクロレンズアレイ等の光学素子を容易に提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る特殊表面形状の創成方法の一実施形態を示す工程説明図である。

【図2】本発明に係る特殊表面形状の創成方法の別の実施形態を示す工程説明図である。

【図3】図2に示す工程で製作された樹脂層の表面形状を基板に転写する際の工程説明図である。

【図4】露光工程における照射光の光強度分布と形成される表面形状との対応を説明するための図である。

【図5】本発明に係る露光用マスクの一例を説明するための図である。

【図6】本発明に係る露光用マスクの別の例を説明するための図である。

【図7】本発明に係るグラデーションマスクを製作する際に用いられるレーザー光照射装置の一構成例を示す図である。

【図8】特殊表面形状のパターニング時に用いられる露光装置の一構成例を示す図である。

【図9】特殊表面形状のパターニング時に用いられる露光方式の一例を示す図である。

【図10】特殊表面形状のパターニング時に用いられる露光装置の別の構成例を示す図である。

【図11】本発明の一実施例を示す図であって、光拡散光学素子を設けた露光用マスクの要部断面図である。

【図12】本発明の別の実施例を示す図であって、光拡散用機能膜を設けた露光用マスクの要部断面図である。

【図13】エッチング工程において、選択比を時間的に

変化させることにより、出発形状と異なる表面形状を基板に形成することを説明するための図である。

【図14】第1の実施例において使用されるレチクルマスクのマスクパターンの一例を示す図である。

【図15】液晶プロジェクター用の液晶デバイスの一例を示す要部断面図である。

【図16】図5に示す液晶デバイスに用いられるマイクロレンズアレイ基板の一例を示す要部断面図である。

【図17】液晶デバイスの画素とマイクロレンズ形成領域の関係を説明するための図である。

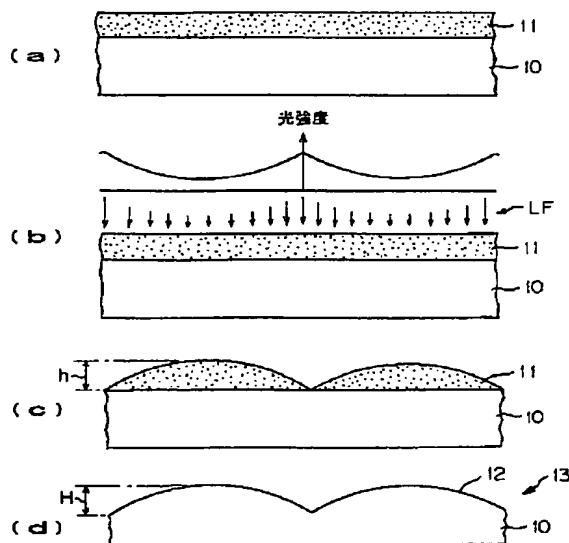
【符号の説明】

- | | | |
|----|---------------------|----|
| 1 | レーザー光発信装置 | |
| 2 | ビームスプリッター | |
| 3 | ミラー | |
| 4 | 光変調器とその制御装置 | |
| 5 | データバス | |
| 6 | 光偏向器とその制御装置 | |
| 7 | 対物レンズ | |
| 8 | X-Yステージ | |
| 9 | 光学式干渉計 | |
| 10 | 基板 | 20 |
| 11 | 感光性材料層（フォトリソ層） | |
| 13 | 光学素子 | |
| 14 | 基板 | |
| 15 | 感光性材料層（光硬化性樹脂層） | |
| 17 | グラデーションマスク（濃度分布マスク） | |
| 18 | グラデーションマスク（濃度分布マスク） | |
| 21 | 光源 | |
| 22 | コリメートレンズ | |

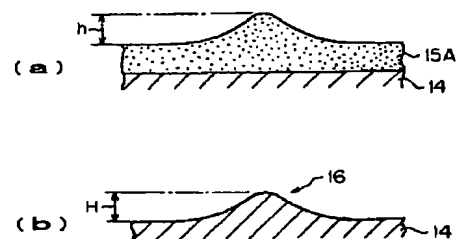
*

- | | |
|------|--------------|
| * 23 | ミラー |
| 24 | ビームエキスパンダー |
| 25 | グラデーションマスク |
| 26 | 基板 |
| 27 | 感光性材料層 |
| 28 | グラデーションマスク |
| 29 | 基板 |
| 30 | 光源ランプ |
| 31 | 集光レンズ |
| 32 | レチクルマスク |
| 33 | 結像レンズ |
| 34 | X-Yステージ |
| 37 | グラデーションマスク |
| 38 a | 石英基板 |
| 38 b | マスクパターン（Cr膜） |
| 39 | 光拡散光学素子 |
| 40 | 石英基板 |
| 41 | アンダーコート |
| 42 | 光拡散用機能膜 |
| 43 | 反射防止機能膜 |
| 44 | 反射防止機能膜 |
| 45 | マスクパターン（Cr膜） |
| 46 | マスクパターン |
| 201 | TFT基板 |
| 202 | マイクロレンズアレイ基板 |
| 203 | 平面基板 |
| 205 | 液晶 |
| 302 | マイクロレンズ |

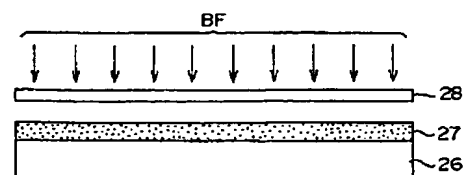
【図1】



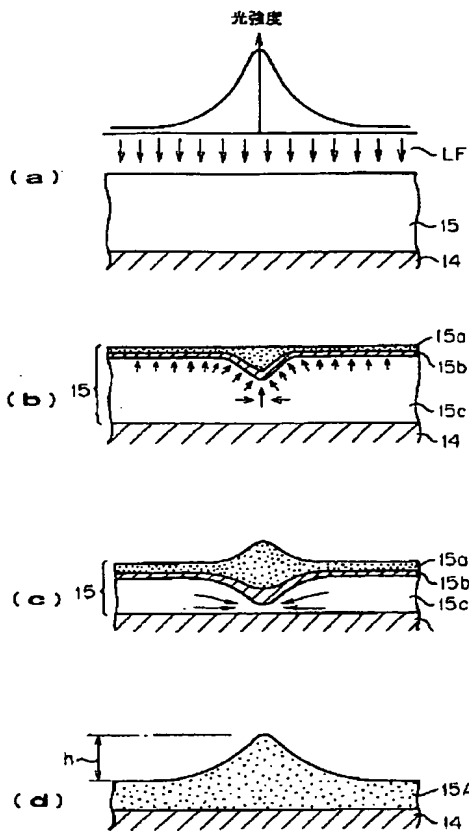
【図3】



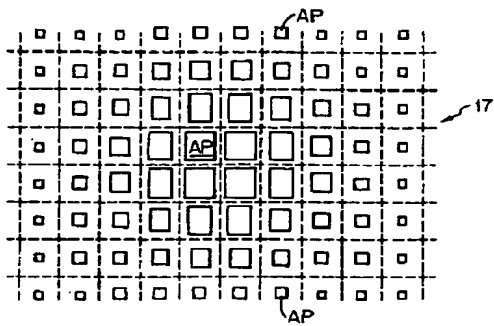
【図9】



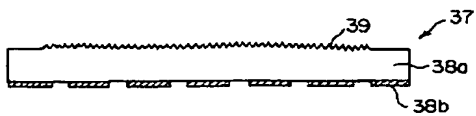
【図2】



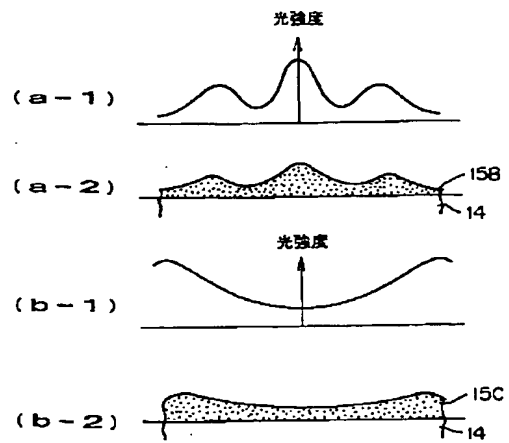
【図5】



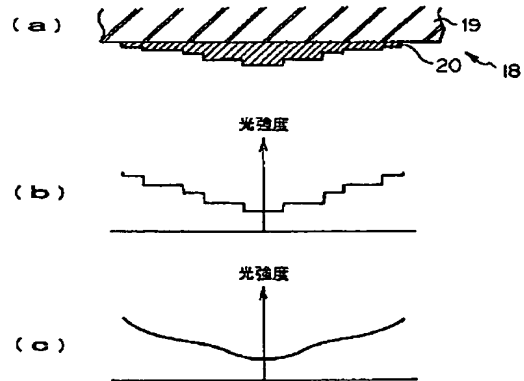
【図11】



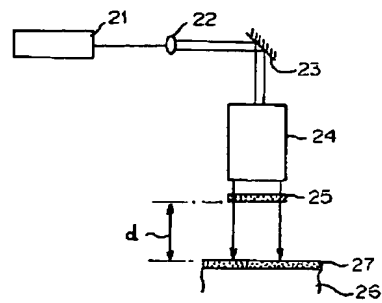
【図4】



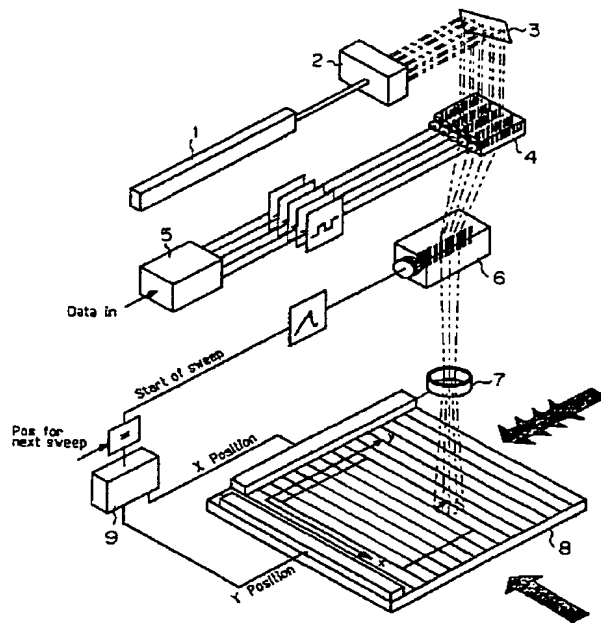
【図6】



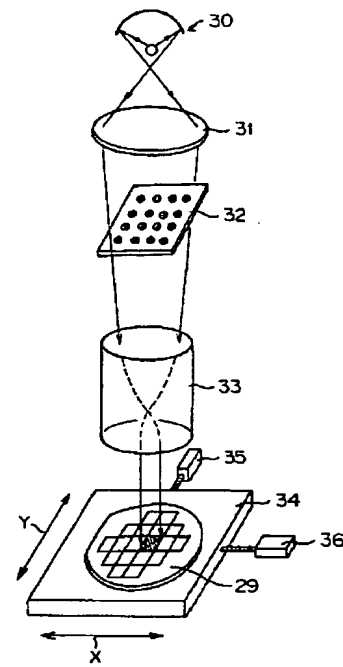
【図8】



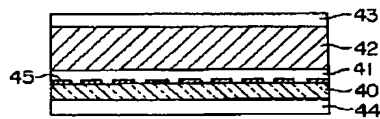
【図7】



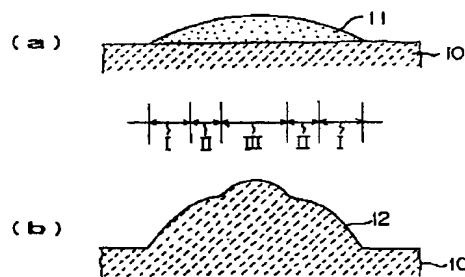
【図10】



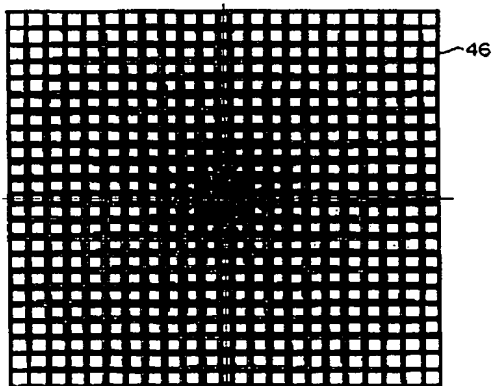
【図12】



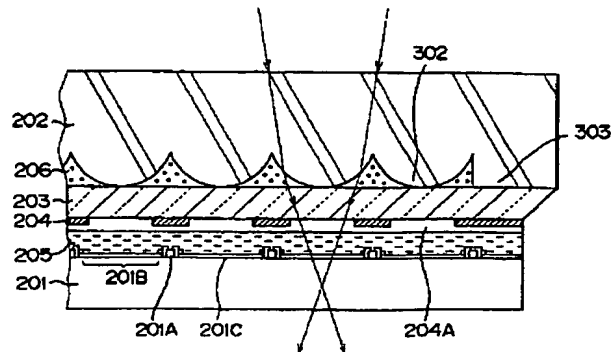
【図13】



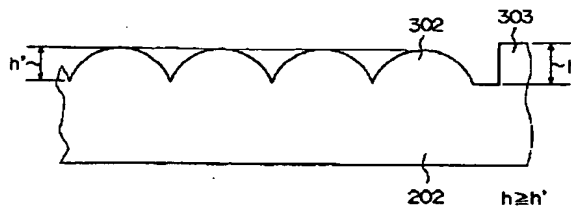
【図14】



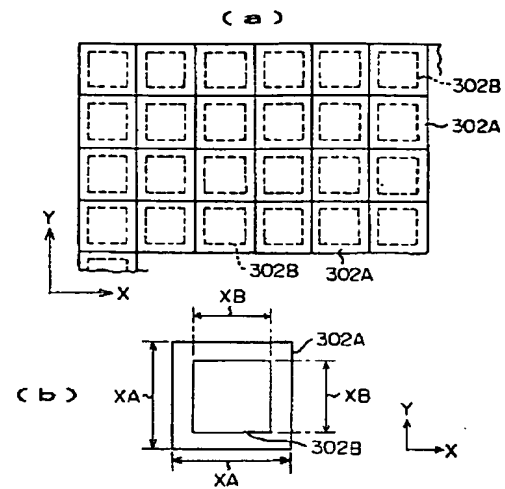
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA22 LA01 PA01 PA17 PB01
 QA02 QA07 QA14 QA34 RA05
 RA12 RA13 UA01
 2H096 AA28 AA30 BA05 CA20 EA11
 EA30 HA23
 2H097 BA01 FA02 LA12 LA16 LA17
 9A001 BB06 JJ48 JJ50 KK16

This Page Blank (uspto)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)